

بررسی اثرات متقابل توربین های بادی در شبکه های توزیع با در نظر گرفتن همزمان استراتژی تجدید آرایش

عبدالمجید احمدی^۱، سیروس محمدی^۲ و مجید سعیدی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، ahmadimajid18@yahoo.com

^۲ عضو هیات علمی گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، sirosnik@gmail.com

^۳ عضو هیات علمی گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج

چکیده - حضور متغیرهای توأم با عدم قطعیت در سیستم های قدرت نظیر توان خروجی توربین های بادی و میزان بار مصرفی مصرف کنندگان، مسائل مرتبط با سیستم های قدرت را از حالت قطعی خارج کرده و در دسته مسائل غیر قطعی قرار داده است. هدف این طرح، بررسی و آرایه راهکارهای مناسب برای تجدید آرایش در شبکه های توزیع با در نظر گرفتن اثر نیروگاه های بادی و عدم قطعیت های مرتبط با سیستم های توزیع، شامل میزان توان خروجی نیروگاه های بادی و میزان بار مصرفی مصرف کنندگان، و همچنین کاهش دادن توابع تلفات کل شبکه، میزان آلاینده گی، انحراف ولتاژ و مقدار هزینه، می باشد. برای حل این مشکل ما از روش تخمین دو نقطه استفاده می نماییم. و الگوریتم مورد استفاده در این مقاله، الگوریتم خفاش می باشد که به صورت دقیق مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین، در این مقاله نتایج شبیه سازی های کامپیوتری ارائه می گردد، که نشان می دهد نتایج بدست آمده از این طرح که بر روی شبکه تست استاندارد IEEE 32 باس می باشد، بسیار مناسب و کارآمد است. کلید واژه- تجدید آرایش، توربین بادی، الگوریتم خفاش، تولید پراکنده، عدم قطعیت

۱- مقدمه

آرایی که اولاً شعاعی بوده و ثانیاً کمترین تلفات توان را داشته باشد [۶]. اخیراً با توجه به بهبود تکنولوژی تولید برق از منابع تجدید پذیر، و همچنین تجدید ساختار و ایجاد بازار رقابتی در صنعت برق، مسیر برای تغییر شکل سیستم برق از حالت متمرکز به یک سیستم غیر متمرکز، که کارایی بهتر و اقتصادی تر دارد هموار گردیده است [۲].

در این پروژه سعی بر آن شده تا علاوه بر مساله عدم قطعیت ناشی از توان خروجی توربین های بادی و عدم توانایی در کنترل و اندازه گیری مقدار توان های اکتیو و راکتیو شبکه، به اهدافی همچون: کاهش مقدار تلفات شبکه، کاهش مقدار آلاینده گی ناشی از نیروگاه های تولید، کاهش مقدار هزینه کل تولید و همچنین کم کردن مقدار انحراف ولتاژ در شبکه پرداخته شود. و برای نشان دادن نتایج کار از شبکه ۳۲ باسه استاندارد IEEE استفاده کرده ایم تا نتایج بدست آمد به خوبی قابل مقایسه و استناد با بهترین کار های انجام گرفته در این زمینه باشد.

الگوریتم مورد استفاده در این کار الگوریتم قدرتمند خفاش بوده که با تصحیحاتی که بر روی آن صورت گرفته، کار آمد تر شده است. همچنین روش مورد استفاده در این مقاله PEM (Point

امروزه مسایلی همچون پیشرفت تکنولوژی در زمینه ساخت واحدهای تولیدی کوچک، کاهش آلودگی محیط زیست، مشکلات در احداث خطوط انتقال جدید و همچنین بالا بودن راندمان منابع تولیدی کوچک، باعث شده که مصرف کنندگان و شرکت های توزیع به استفاده بیشتر از تولیداتی تحت عنوان تولیدات پراکنده که عمدتاً به شبکه های توزیع متصل می شوند و نیازی به خطوط انتقال ندارند، تشویق گردند. یکی از مهم ترین این تولیدات، نیروگاه های بادی می باشد [۱].

بنابراین با افزایش استفاده از نیروگاه های بادی و همچنین مسأله خرید و فروش انرژی الکتریکی بایستی مسایل و برنامه های موجود در ارتباط با شبکه های توزیع مورد بازنگری مجدد قرار گیرند. یکی از برنامه ها و طرح های مهم و رایج در این بخش از سیستم های قدرت، مسأله تجدید آرایش در شبکه های توزیع می باشد [۸].

در این پروژه به دنبال آرایش بهینه هستیم یا به عبارت دیگر

Estimate Method) می باشد که در ادامه بطور مفصل بیان می گردد.

۲- بیان مسئله

در سال های اخیر رشد بار و افزایش مصرف انرژی الکتریکی از یک طرف و وجود مشکلات زیست محیطی بر سر گسترش خطوط و سیستم های قدرت از طرف دیگر، باعث گردیده است تا ایده ی استفاده از تولیدات پراکنده جای تولیدات متمرکز نیروگاهی را بگیرد. یکی از اصلی ترین مشکلات تولید توان توسط نیروگاه های متمرکز، وجود میزان بالای تلفات سالانه در خطوط بلند انتقال توان بوده که ریشه در فاصله زیاد بین محل تولید و مصرف دارد. بعضی دیگر از مزایای استفاده از تولیدات پراکنده شامل: (۱) کاهش هزینه های تولید برق (۲) کاهش میزان تلفات (۳) بهبود قابلیت اطمینان شبکه [۴] (۴) بهبود سطح ولتاژ (۵) ایجاد اثرات زیست محیطی مثبت و مواردی از این دست می باشد. در کنار تمامی این مزایا، در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده در شبکه موجب ایجاد چالش های جدید و ناخواسته ای در شبکه گردیده است.

در این میان ظهور منابع تولید توان پراکنده مبتنی بر انرژی نو مانند توربین بادی به علت ماهیت نوسانی توان خروجی آن موجب ایجاد چالش های بسیاری در شبکه های برق گردیده است. توان توربین بادی بر اساس سرعت باد ورودی آن متغیر بوده و حتی دقیق ترین روش های پیش بینی قادر به پیش بینی دقیق خروجی آن نمی باشد. در نتیجه همواره مقداری خطا در پیش بینی آن می باشد. به علاوه، توربین های بادی موجود در یک مزرعه بر روی یکدیگر اثر مقابل داشته که می تواند موجب تغییر توان هر یک گردد. در این میان استراتژی تجدید آرایش نیز یک تکنیک قدرتمند و مفید برای بهبود وضعیت شبکه های برق بوده که سال های پیش مورد توجه می باشد و حضور توربین های بادی می تواند بر آن اثر گذار باشد. فرایند تغییر توپولوژی توسط یک دسته کلید های دستی یا اتوماتیک می تواند انجام گیرد. [۷]

در یک شبکه توزیع شعاعی، تعدادی از کلید ها در حالت عادی باز (NO) بوده و تعدادی دیگر در حالت عادی بسته (NC) قرار دارند. با تغییر حالت این کلیدها (Sectionalizing & Tie

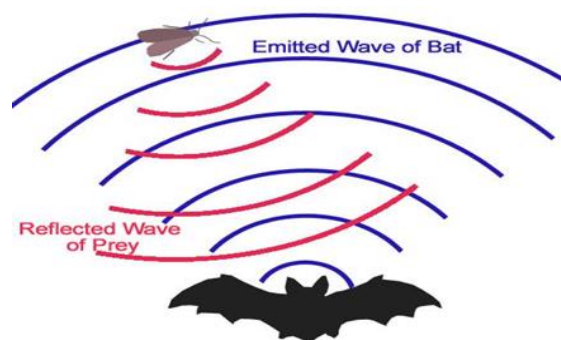
Switches) در شبکه در حالی که شبکه ساختار شعاعی خود را حفظ نموده و بطور همزمان تمامی بارها تامین میگردند می توان مسیر پخش توان در شبکه توزیع را طوری تغییر داد که اهداف فنی و اقتصادی متعددی نظیر کاهش توان، بهبود پروفیل ولتاژ، و ... نیز محقق گردد. یک نکته مهم اینست که باید توجه کرد که این اهداف همگی در یک روال یکسان بهبود نیافته و لذا نیازمند یک چهارچوب بهینه سازی قدرتمند و هوشمند چند هدفه می باشیم تا تمامی اهداف بخوبی برآورده گردند. ظهور منابع تولید توان توربین بادی می تواند اثرات کاملاً غیر خطی بر روی مدیریت شبکه و نیز استراتژی تجدید آرایش داشته باشد. این مقاله به بررسی این مسئله از دیدگاه توابع هدف مطرح شده در بالا خواهد پرداخت.

۳- الگوریتم خفاش

خفاش تنها پستانداری است که توانایی پرواز دارد و از قابلیت پژواک (echolocation) برخوردار است. آن ها حدود بیست درصد از گونه های پستانداران را تشکیل می- دهند و شامل ۹۹۶ گونه متفاوت هستند. اغلب آن ها این قابلیت را با درجه ی مشخصی استفاده می کنند. در این میان میکرو خفاش ها مشهورترین گونه ای هستند که به طور وسیعی از این قابلیت به منظور شناسایی شکار، اجتناب از برخورد با موانع و یافتن شکاف محل خواب در تاریکی استفاده می کنند [۵].

هدف اصلی اینست که با شناسایی نقاط ضعف این روش با کمک تکنیک های تصحیحی موجود در الگوریتم های تکاملی قدرت حل این الگوریتم را در برخورد با مسایل بهینه سازی خصوصاً توزیع اقتصادی بار افزایش دهیم.

این خفاش ها پالس های صوتی با فرکانس پایین ساطع کرده و منتظر انعکاس آن از اشیاء اطراف می مانند (شکل ۱). پالس ها از نظر ویژگی با یکدیگر متفاوت می باشند و این مسأله به گونه ی آن ها بستگی دارد. بسیاری از خفاش ها از سیگنال های کوتاه و با فرکانس های متفاوت استفاده. در حالی که بقیه از سیگنال هایی با فرکانس ثابت برای echolocation استفاده می کنند.



شکل ۱: ارسال فرکانس توسط خفاش

در ابتدا هر خفاش مقادیر متفاوتی از بلندی صدا و نرخ ارسال پالس دارد. این پارامترها در ابتدا به صورت تصادفی انتخاب می شود. سپس مقدار آن ها به روزرسانی می شود.

برای بخش جستجوی محلی، وقتی یک راه حل از بین بهترین راه حل های موجود انتخاب شد، موقعیت جدید برای هر خفاش به طور محلی توسط پیاده روی تصادفی به صورت زیر تعیین می شود:

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \quad (4)$$

که در آن ε یک عدد تصادفی در بازه ی $[-1,1]$ است و A^t میانگین بلندی صدای تمامی خفاش ها در این زمان است [3].

۴- روش مدل سازی عدم قطعیت تخمین نقطه ای PEM

در این مقاله، جهت در نظر گرفتن خطای پیش بینی بارهای مصرفی و نیز تغییرات توان تولیدی در توربین بادی ناشی از نوسانات باد، از تکنیک آماری تخمین نقطه ای PEM استفاده می شود.

بطور کلی، خروجی های تصادفی برنامه پخش بار آماری شامل ولتاژ شین ها و شارش خطوط، حالت پایدار سیستم را مشخص می کنند. اگر این متغیرهای خروجی را با Z نشان دهیم، در مورد معادلات پخش بار می توان نوشت:

$$(5)$$

$$Z = F(p_1, p_2, \dots, p_m) \quad Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_{N_{orv}}]^T$$

در روش (PEM) از دو متغیر $P_{l,1}$ و $P_{l,2}$ ، جایگزین متغیر P_l در محاسبات پخش بار می شود.

$$P_{l,k} = \mu_{P_l} + \xi_{l,k} \cdot \sigma_{P_l} \quad (6)$$

با محاسبه مقادیر P_l میتوان از پخش بار سیستم (DLF) دو تخمین از Z_i یعنی $Z_i(l,1)$ و $Z_i(l,2)$ را بدست آورد. که در رابطه بالا μ_{P_l} متوسط مقدار σ_{P_l} و f_{P_l} متوسط مقدار $\xi_{l,k}$ از رابطه (۱۱) محاسبه می گردد.

$$\xi_{l,k} = \frac{\lambda_{l,3}}{2} + (-1)^{3-k} \cdot \sqrt{m + \left(\frac{\lambda_{l,3}}{2}\right)^2} \quad (7)$$

روابط به روزرسانی سرعت و موقعیت در این الگوریتم دارای شباهت هایی با روابط موجود در بهینه سازی توده ی ذرات می باشد. می توان گفت الگوریتم خفاش ترکیبی از این الگوریتم و جستجوی محلی است که توسط بلندی صدا و نرخ ارسال پالس کنترل می شود. موقعیت های جدید x_i و سرعت v_i در زمان t به صورت زیر می باشند [3]:

(۱)

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})b$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x^*) f_i (3-8)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t$$

که در آن β یک بردار تصادفی در بازه ی $[0,1]$ می باشد و از یک توزیع یکنواخت به دست می آید. در اینجا x^* بهترین موقعیت سراسری جاری است که بعد از مقایسه ی تمامی موقعیت های به دست آمده توسط n خفاش تعیین می شود. در الگوریتم خفاش، بلندی صدا و نرخ ارسال پالس نیز بایستی در طول تکرارها به روزرسانی شوند. بلندی صدا با نزدیک شدن خفاش به طعمه، کاهش می یابد و زمانی که خفاش طعمه را بیابد، مقدار A صفر می شود. در مقابل، نرخ ارسال پالس با یافتن طعمه مقدار ماکزیمم به خود گرفته و یک می شود.

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (2)$$

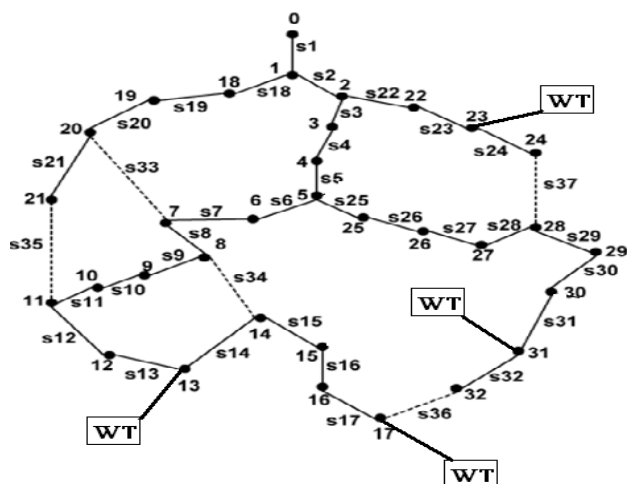
که در آن α و γ ثابت هستند. برای هر مقدار $0 < \alpha < 1$ و $\gamma > 0$ زمانی که t به سمت بی نهایت میل کند، A_i^t به صفر و r_i^t به مقدار r_i^0 میل می کند به عبارتی:

$$A_i^t \rightarrow 0, r_i^t \rightarrow r_i^0 \text{ as } t \rightarrow \infty \quad (3)$$

بخوبی مشاهده گردد. نمای تک خطی شبکه در (شکل ۲) نشان داده شده است. جهت مشاهده تاثیر در نظر گرفتن عدم قطعیت در نتایج حاصل، آنالیز صورت گرفته به هر دو صورت قطعی و تصادفی برای هر دو شبکه تست پیاده سازی خواهد شد.



شکل ۲: شبکه استاندارد ۳۲ باس



شکل ۳: مکان توربین بادی

هدف را قبل و بعد از تجدید آرایش در شبکه بودن در نظر گرفتن توربین های بادی نشان می دهد. در اینجا نیز هنوز عدم قطعیت در محاسبات دیده نشده است. همانطور که از این جدول دیده می شود، اعمال تنها تکنیک تجدید آرایش در شبکه بودن هیچ گونه هزینه اضافی توانسته تمامی توابع هدف را بخوبی بهبود بخشد. اکنون زمان در نظر گرفتن منابع توربین بادی در شبکه می

که $\lambda_{l,3}$ ضریب چولگی تابع چگالی f_{pl} میباشد که طبق رابطه زیر محاسبه میشود.

$$\lambda_{l,3} = \frac{E[(P_l - \mu_{P_l})^3]}{(\sigma_{P_l})^3} \quad (8)$$

برای محاسبه گشتاور مرتبه دوم ضریبی بنام ضریب وزنی $W_{l,k}$ تعریف میشود که مقدار آن بین صفر و یک بوده و جمع تمامی

جدول ۱: نتایج اعمال تجدید ساختار بر شبکه با الگوریتم پیشنهادی بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت و توربین های بادی بر روی شبکه

$W_{l,k}$ برابر یک می باشد. که مطابق رابطه زیر محاسبه میشود:

$$\omega_{l,k} = \frac{1}{m} (-1)^k \frac{\xi_{l,(3-k)}}{\xi_{l,1} - \xi_{l,2}} \quad k = 1, \quad (9)$$

انحراف معیار و میانگین Z_i مطابق رابطه زیر محاسبه می شوند.

$$\mu_{Y_i} = E(z_i) \quad , \quad \sigma_{Y_i} = \sqrt{E(z_i^2) - (E(z_i))^2} \quad (10)$$

در هنگام آرایه نمونه معادلات و شکل ها نحوه ارجاع به منابع مورد استفاده نیز نشان داده شده است. شماره مراجع هم در متن و هم در بخش مراجع در میان کروشه قرار داده می شود. شماره اختصاص داده شده به مراجع به ترتیب ظاهر شدن این مراجع در متن مقاله است. به طور کلی استاندارد ارجاع به مراجع بر مبنای استاندارد IEEE می باشد که جهت مشاهده آن می توانید به دستورالعمل تهیه مقاله به زبان انگلیسی، بخش مراجع مراجعه نمایید.

۵- شبکه تست ۳۲ باسه استاندارد IEEE

این شبکه یک سیستم توزیع ۳۲ باسه بوده که شامل دو فیدر تغذیه اصلی می باشد. در شبکه ۳۲ کلید نرمال بسته و ۵ کلید نرمال باز بوده که قرار است در طول بهینه سازی کنترل گردند. کلید های نرمال باز در شبکه که پتانسیل بسته شدن را دارا می باشند با خط چین در (شکل ۲) نشان داده شده است. ولتاژ نامی شبکه ۱۲٫۶۶ کیلو ولت بوده و شبکه هر دونوع بارهای اکتیو و راکتیو را شامل می گردد. در ابتدای کار، از توربین های بادی در شبکه صرف نظر نموده تا بعد از آن تاثیرات حضور آنها در شبکه

۱۳۹۴-۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراگان)

مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW
0.91309070	23030.41825	06823.1567	08690929.0	202.6705	شرایط اولیه شبکه
0.9387996	22659.26540	1541.81372	0.06120031	139.5372	بعد از تجدید ساختار

باشد.

گرفته شده است. نتایج در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیرهای تصادفی مساله در (جدول ۲) بخوبی قابل مشاهده می باشد.

از نقطه نظر عدم قطعیت، همانطور که میبینیم، در نظر گرفتن خطای احتمالی ناشی از نوسانات بارهای مصرفی و نیز توان تولیدی توربین بادی در مساله باعث افزایش مقادیر تمامی توابع هدف گردیده است. در حقیقت این هزینه افزایشی نشان می دهد که در عمل نقاط بهینه کاری شبکه برای توابع هدف این نقاط بوده و نقاط بدست آمده بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت کمی خوش بینانه و ایده آل می باشد!!

جدول ۲- نتایج اعمال تجدید ساختار بر شبکه با الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن عدم قطعیت و حضور توربین های بادی در روی شبکه

(شکل ۳) مکان در نظر گرفته شده برای توربین های بادی را در شبکه نشان می دهد. ظرفیت تولید هر یک این منابع انرژی نو برابر ۳۵۰ کیلو وات فرض شده است. برای قرار دادن توربین های بادی در شبکه هیچ گونه جابجایی خاصی صورت نگرفته ولی سه نکته در قرار دادن آنها رعایت شده:

- ۱) فاصله آنها از ابتدای فیدرها
- ۲) فاصله آنها از همدیگر
- ۳) قرار دادن در نقاطی که تمرکز بار وجود دارد

در نهایت جهت درک بهتر اثرات در نظر گرفتن توربین بادی و نیز تکنیک تجدید آرایش، شکل زیر پروفیل ولتاژ شبکه را قبل و بعد از بهینه سازی نشان می دهد. همانطور که از شکل زیر دیده

لازم به ذکر است که تمامی متغیرهای تصادفی شبکه با تابع توزیع نرمال مدل شده اند. با این حال، مقدار انحراف معیار تابع توزیع در بارهای اکتیو و راکتیو برابر ۰.۵ فرض شده و در توربین

مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW	مقدار تلفات اکتو kW
0.91309070	23030.418256	1567.0682	0.08690929	202.670	شرایط اولیه شبکه
0.96012833	14055.931888	1534.4135	0.03987166	76.0339	با حضور توربین بادی، بدون عدم قطعیت
0.954196077	14085.004943	1541.549	0.04580392	77.8742	با حضور توربین بادی و عدم قطعیت

بادی به علت نوسانات بیشتر خطا، مقدار انحراف معیار ۰.۶ در نظر می شود میزان بهبود پروفیل ولتاژ به خوبی قابل رویت می باشد.

تا همزمان تمامی اهداف شبکه را که پیشتر نام آنها ذکر گردید برآورده گردند.

۷- مراجع

[1] هوشمند، رحمت الله. تولید برق در نیروگاه، چاپ دوم، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۹.

[2] رفیعی طباطبایی، سید رضا. نیروگاه های جدید پر بازده و کم آلاینده، چاپ اول، انتشارات آزاده، ۱۳۹۱.

[3] X.-S. Yang, A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm, in: Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NISCO 2010) (Eds. J. R. Gonzalez et al.), Studies in Computational Intelligence, Springer Berlin, 284, Springer, 65-74 (2010).

[4] A. Kavousi-Fard, T. Niknam, , *IEEE Trans. On Power Delivery*, 29(3) (2014) 1344 – 1353.

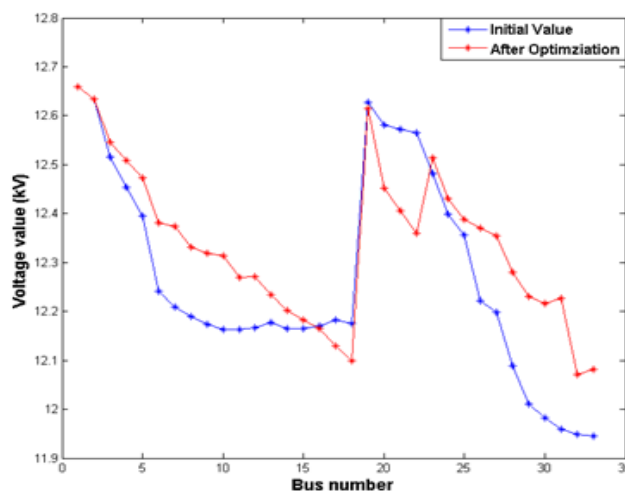
[5] G. Komarasamy, Amitabh Wahi, “An Optimized K-Means Clustering Technique using Bat Algorithm,” *European Journal of Scientific Research*, vol. 84(2), pp.263 – 273, 2012.

[6] Debaprya, D. “A Fuzzy Multiobjective Approach For Network Reconfiguration Of Distribution Systems”, *IEEE Trans. On Power Deliv.* 2006.

[7] Chen, C., Cho, M., and Chen, Y.W. “Development Of Simplified Loss Models For Distribution System Analysis”, *IEEE Trans. On Power Deliv.*, Vol. 9, No. 3, pp. 1545-1551, 1994.

[8] L. Liu, X. Chen, Reconfiguration of distribution networks based on fuzzy genetic algorithms, *Proceedings of the CSEE (in Chinese)*, vol. 20, pp. 66–69, 2000.

این موضوع خصوصا در باس های انتهایی که میزان افت ولتاژ بیشتر از باس های دیگر شبکه بوده به خوبی مشاهده می گردد.



شکل ۴- بهبود سطح ولتاژ شبکه بعد از قرار گرفتن منابع توربین های بادی و نیز اعمال تجدید ساختار در شبکه توزیع اول سپاسگزاری

۶- نتیجه گیری

در حقیقت سیستم توزیع می کوشد تا با بازده هر چه بالاتر و کیفیت مناسب تر برق رسانی به موقع و مناسبی را به مشترکین انجام دهد. در این میان، استراتژی تجدید آرایش یکی از مهمترین تکنیک های تقریبا بدون هزینه بوده که می تواند از جنبه های مختلفی به کمک شبکه بیاید.

با پیاده سازی روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم خفاش بر شبکه تست IEEE، نتایج کار در مجموع بطور کلی به چند بخش تقسیم می گردد: (۱) مشاهده شد که استراتژی تجدید ساختار خود به تنهایی قادر به بهبود شبکه نسبت به حالت اولیه آن می باشد. (۲) در نظر گرفتن منابع تولید انرژی بادی به صورت محسوسی به بهبود کلیه توابع هدف مساله کمک می نماید. (۳) ضرورت در نظر گرفتن فاز مطالعاتی تصادفی جهت لحاظ خطاهای پیشبینی بار و نیز توان خروجی توربین های بادی کاملا ثابت گردید. (۴) جهت مدیریت چند هدفه شبکه باید یک چهارچوب مناسب ارائه گردد